

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Demodulationsverfahren für ein verrauschtes Signal, bei dem zumindest die Phase differentiell moduliert ist und die empfangenen Empfangssymbole als komplexe Symbole in einem rotations-symmetrischen Ortsdiagramm vorliegen, mit den weiteren Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

Digitale Modulationsverfahren werden im Zuge der Breitbandübertragung großer Datenmengen zunehmend wichtiger. Insbesondere bei Multiträgersystemen, die zueinander orthogonale Subträger verwenden, werden phasenmodulierte Signale verwendet, sogenannte OFDM-Signale.

In der DE-PS 43 19 217, auf deren Offenbarung Bezug genommen wird, ist ein Modulationsverfahren vorgestellt worden, bei dem zusätzlich zur Phase die Amplitude moduliert wird. Dieses Verfahren wird im folgenden als DAPSK-Signal bezeichnet.

Generell gilt für alle gattungsgemäßen digitalen Modulationsverfahren, daß ein komplexes Sendesymbol $S(i,k)$ generiert wird, das nach Übertragung über den Funkkanal mit Hilfe eines bekannten Ortsdiagramms dekodiert werden muß.

Reale Funkkanäle sind Störeinflüssen ausgesetzt, wie Dämpfung, Mehrwegempfang etc. Das empfangene komplexe Sendesymbol $R(i,k)$ entspricht daher nicht identisch dem gesendeten Symbol $S(i,k)$, sondern ist sowohl dem Betrag nach (Amplitude) wie der Phasenlage nach verzerrt.

Analytisch kann dieser Vorgang durch eine komplexe Multiplikation beschrieben werden:

$$R_{i,k} = S_{i,k} \cdot H_{i,k}$$

Dabei sind in dem Kanalübertragungsfaktor $H_{i,k}$ sämtliche Störeinflüsse zusammengefaßt.

Insbesondere der in dem Übertragungsfaktor enthaltene Phasenversatz macht kohärente Demodulationsverfahren aufwendig und schwierig, da der Phasenversatz der Trägerschwingung mit einer Trägerregelschaltung nachgeführt werden muß. Bildlich gesprochen, muß dafür gesorgt werden, daß das dem Sendeverfahren zugrunde gelegte Ortsdiagramm beim Empfänger unverzerrt ankommt.

In der Praxis haben sich daher differentielle Modulationsverfahren und entsprechende differentielle Demodulationsverfahren durchgesetzt, d.h. inkohärente Strukturen. Inkohärente Strukturen liegen generell dann vor, wenn das empfangene Signal nicht mit Hilfe einer aus einer Trägerregelschaltung gewonnenen frequenz- und phasenrichtigen Trägerschwingung in die komplexe Einhüllende überführt wird.

Bei einem differentiellen Modulationsverfahren wird das jeweils zu generierende Sendesymbol $S(i,k)$ des i -ten Modulationsblockes aus der Multiplikation eines komplexen Symbols $B(i,k)$ mit dem im $(i-1)$ -ten Modulationsblock auf dem k -ten Subträger gesendeten Symbol $S(i-1,k)$ multipliziert. Der Informationsgehalt liegt also in dem komplexen Symbol $B(i,k)$, das bei der Demodulation wiederzugewinnen ist.

Bei der differentiellen Demodulation wird jedes Empfangssymbol $R_{i,k}$ in Amplitude und Phase differentiell demoduliert, indem es auf das Empfangssymbol des vorhergehenden, $(i-1)$ -ten Modulationsblockes bezogen wird.

Hierdurch wird erreicht, daß der oben genannte Kanalübertragungsfaktor $H_{i,k}$ weitgehend eliminiert wer-

den kann, wenn man voraussetzt, daß sich der Kanalübertragungsfaktor vom $(i-1)$ -ten Modulationsblock zum i -ten Modulationsblock nur unwesentlich ändert. Daß sich der Übertragungsfaktor nahezu weghebt, wird anhand folgender Formeln deutlich:

$$B_{i,k} = \frac{S_{i,k}}{S_{i-1,k}}$$

$$B_{i,k} = \frac{R_{i,k}}{R_{i-1,k}} = \frac{S_{i,k} \cdot H_{i,k}}{S_{i-1,k} \cdot H_{i-1,k}}$$

$$\text{da } H_{i,k} \approx H_{i-1,k}$$

Trotz der differentiellen Demodulationstechnik läßt sich nicht verhindern, daß die empfangenen komplexen Symbole $R_{i,k}$ verrauscht sind und innerhalb von vorgegebenen Entscheidungsgrenzen, sogenannten Fachgrenzen, einem der möglichen diskreten Werte im empfangenen Ortsdiagramm zugeordnet werden müssen.

Der Störabstand des Nutzsymbols kann daher auch bei differentiellen Demodulationsmethoden hohen Anforderungen häufig noch nicht genügen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes Demodulationsverfahren hinsichtlich des Störabstandes weiter zu verbessern.

Der Lösung der Aufgabe liegt insbesondere die Erkenntnis zugrunde, daß die Verzerrung eines rotations-symmetrischen Ortsdiagramms durch lediglich zwei Parameter beschrieben werden kann. Ausgehend von bekannten Modulationsverfahren, die ein rotationssymmetrisches Ortsdiagramm zugrunde legen, ist die Lösung der Aufgabe daher dadurch gekennzeichnet, daß der Kanalübertragungsfaktor $H_{i,k}$ aus einem Vergleich von einem ersten empfangenen Symbol $R_{i,k}$ mit dem zugeordneten Sendesymbol $S_{i,k}$ näherungsweise berechnet wird, und der errechnete Kanalübertragungsfaktor $H_{i,k}$ bei der Demodulation des nächsten Empfangssymbols $R_{i+1,k}$ zur Korrektur des Rauschanteils verwendet wird. Dabei ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß der komplexe Kanalübertragungsfaktor $H_{i,k}$, dargestellt durch Amplitude und Phase, hinsichtlich seiner Phase nicht eindeutig berechnet wird, sondern daß lediglich der Phasenversatz bestimmt wird, d.h. der Winkelbetrag, um den das Ortsdiagramm bis zur benachbarten definierten Phasenlage verdreht ist. Es wird mit anderen Worten in Kauf genommen, daß der genaue Betrag der Phase des Kanalübertragungsfaktors $H_{i,k}$ nicht bekannt ist, sondern daß der näherungsweise errechnete Phasenversatz um Beträge mehrdeutig ist, die jeweils einem ganzzahligen Vielfachen des Phasenlagen-Differenzwinkels $\Delta\phi$ zwischen zwei Phasenlagen des rotationssymmetrischen Ortsdiagramms entsprechen. Dabei liegt der Erfindung die Erkenntnis zugrunde, daß diese Mehrdeutigkeit unschädlich ist, wenn das gesendete Signal hinsichtlich seiner Phase differentiell moduliert ist, und im Empfänger differentiell demoduliert wird.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird einerseits eine Entscheidungsrückkopplung geschaffen, da das einem empfangenen Symbol R_{ik} zugeordnete Sendesymbol S_{ik} bereits das Ergebnis einer Entscheidung ist, d. h. nicht mit Sicherheit bekannt ist. Andererseits wird eine näherungsweise Ermittlung der Kanalverzerrung ermöglicht, ohne daß definitiv bekannte Sendesymbole S_{ik} , sogenannte Prüfsymbole, übermittelt werden müssen, was ersichtlicherweise zu Zeitverlusten führt.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich zur Verwendung bei der Demodulation von Signalen, bei denen zumindest die Phase differentiell moduliert ist. Die Amplitude kann differentiell oder absolut kodiert sein.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines in der Zeichnung darbestellten Ausführungsbeispiels beschrieben.

In der Zeichnung zeigt die einzige Figur das rotationssymmetrische Ortsdiagramm einer differentiellen Amplituden-Phasen-Modulation (DAPSK) mit 64 Zuständen.

Die Diskriminierung der einzelnen Empfangssymbole erfolgt über 64 verschiedene Phasen-Amplituden-Zustände mit vier unterschiedlichen Amplituden und 16 unterschiedlichen Phasenlagen.

Zum besseren Verständnis wird empfohlen, die bereits erwähnte DE-PS 43 19 217 C2 heranzuziehen, dort Fig. 3 nebst Beschreibung.

Das in Fig. 1 mit durchgezogenen Linien dargestellte Ortsdiagramm entspricht dem senderseitigen Ortsdiagramm und ermöglicht die Unterscheidung von 64 verschiedenen Sendesymbolen S_{ik} , die als Punkte dargestellt sind. Jedes Sendesymbol ist durch eine von vier Amplituden A_0, A_1, A_2, A_{\max} und einen Phasenwinkel ϕ charakterisiert. Wie die durch Kreuze dargestellten drei Beispiele zeigen, sind die empfangenen Symbole R_{ik} durch komplexe Multiplikation mit einem Übertragungsfaktor H_{ik} sowohl hinsichtlich der Phasenlage wie hinsichtlich der Amplitude verschoben. Setzt man voraus, daß die Sendesymbole hinsichtlich ihrer Phasenlage differentiell moduliert Informationen enthalten, so ist für eine eindeutige Rekonstruktion nur die Kenntnis der Amplitudendämpfung und des Phasenversatzes ϕ_0 wichtig. Eine zusätzliche "Verdrehung" des Ortsdiagramms um ganzzahlige Vielfache des Phasendifferenzwinkels $\Delta\phi$ ist hingegen unschädlich.

Es soll im folgenden angenommen werden, daß das auf dem zweitgrößten Amplitudenring A_2 im ersten Quadranten liegende Symbol $R_{ik} = S_{ik} \cdot H_{ik}$ empfangen worden ist. Gemäß dem Stand der Technik muß anhand der Fachgrenzen FG entschieden werden, ob das empfangene Symbol R_{ik} dem Sendesymbol S_{ik} entspricht.

Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, die im Kanalübertragungsfaktor H_{ik} enthaltenen Informationen hinsichtlich Phasenversatz und Amplitudenverzerrung zu schätzen und zur Korrektur entweder des empfangenen Symbols R_{ik} oder zur Korrektur der Fachgrenzen FG zu verwenden, bevor anhand der Fachgrenzen eine Entscheidung getroffen wird, welchem Sendesymbol S_{ik} das empfangene Symbol R_{ik} zuzuordnen ist.

Der Erfindung liegt dabei die Erkenntnis zugrunde, daß sich das rotationssymmetrische Ortsdiagramm vollständig in das empfangene, verzerrte Ortsdiagramm überführen läßt, wenn der in Fig. 1 mit ϕ_0 bezeichnete

Phasenversatz und eine Amplitude, vorzugsweise die größte Amplitude $A_{\max R}$, bekannt sind. Eine Mehrdeutigkeit um den Phasenlagendifferenzwinkel $\Delta\phi$ ist dabei wegen der differentiellen Modulation der Phase unschädlich.

Bei Kenntnis von $A_{\max R}$ und ϕ_0 können sämtliche Empfangssymbole R_{ik} im unverrauschten Fall eindeutig rekonstruiert werden, wenn zusätzlich die gegenseitigen Amplitudenverhältnisse $\alpha_0 \cdot A_0 = \alpha_1 \cdot A_1 = \dots = A_{\max R}$ berücksichtigt werden.

Erfindungsgemäß werden $A_{\max R}$ und ϕ_0 in jedem Schritt geschätzt und an Funkkanaländerungen angepaßt. Die näherungsweise berechneten oder geschätzten Werte seien im eingeschwungenen Zustand als \hat{A}_{\max} und $\hat{\phi}_0$ bezeichnet. Im bis jetzt behandelten Beispiel, d. h. im i-ten Schritt, sei diese Schätzung bereits erfolgt. Sind beim Empfang des beispielhaft behandelten Symbols R_{ik} auf dem zweitgrößten Amplitudenring A_2 und ϕ_0 aus vorhergehenden Verfahrensschritten bekannt, so läßt sich ein Schätzwert für die wahre Größe der Amplitude A_2 wie folgt angeben:

$$\hat{A}_2 = \hat{A}_{\max} \cdot \alpha_2^{-1}.$$

Weiterhin wird die Phasenlage des empfangenen Symbols um den Phasenversatz $\hat{\phi}_0$ korrigiert.

Im folgenden wird erläutert, wie der Kanalübertragungsfaktor H_{ik} bzw. die ihn charakterisierenden Werte Amplitudendämpfung und Phasenversatz fortlaufend geschätzt werden.

Für die fortlaufend aktualisierte Schätzung wird jedes Empfangssymbol R_{ik} in Polarkoordinaten zerlegt:

$$R_{i,k} = \tilde{A} \cdot e^{j2\pi\tilde{\phi}}.$$

Wenn zum erstenmal ein Symbol R_{ik} empfangen wird, das auf dem äußersten Amplitudenring liegend einklassifiziert wird, so wird gesetzt $\tilde{A} = A_{\max R}$, vgl. Fig. 1. Wie oben beschrieben, lassen sich Schätzwerte für die drei anderen Amplitudenringe über die geometrischen Ähnlichkeitsfaktoren herstellen.

Weiterhin wird der Phasenversatz ϕ_0 nach folgender Formel geschätzt:

$$\hat{\phi}_0 = \tilde{\phi} \bmod \Delta\phi.$$

Nimmt man an, daß diese Schätzung im (i-1)-ten Schritt durchgeführt worden ist, kann mit den so gewonnenen Werten das in Fig. 1 im ersten Quadranten auf dem dritten Amplitudenring (A_2) gezeichnete empfangene Empfangssymbol R_{ik} im i-ten Schritt auf S_{ik} umgerechnet werden, oder aber die Fachgrenzen FG können zu Fachgrenzen FG aktualisiert werden.

Beides entspricht einer Transformation des Koordinatensystems des senderseitigen Ortsdiagramms zu dem empfängerseitigen Ortsdiagramm.

Auf diese Weise erfolgt die Einordnung des empfangenen Symbols R_{ik} entweder aufgrund eines verbesserten Wertes für R_{ik} oder aber aufgrund aktualisierter Fachgrenzen, was zu einer Verbesserung des Störabstandes führt.

Wie unmittelbar einsichtig ist, kann eine Aktualisierung der Schätzwerte für aktualisierte Fachgrenzen in jedem Schritt erfolgen. Erfindungsgemäß wird jedoch

vorgeschlagen, die Schätzwerte jedesmal dann neu zu berechnen, wenn ein empfangenes Symbol R_{ik} als auf dem äußersten Amplitudenring liegend einklassifiziert wird. Dabei können dann die aktualisierten Schätzwerte für die maximal empfangene Amplitude und den Phasenversatz nach folgenden rekursiven Formeln aktualisiert werden:

$$\hat{A}_{\max, \text{neu}} = \beta_A \hat{A}_{\max, \text{alt}} + (1 - \beta_A) \tilde{A} \quad 10$$

$$\hat{\varphi}_{0, \text{neu}} = \hat{\varphi}_{0, \text{alt}} + \beta_\varphi (\tilde{\varphi} - \hat{\varphi}_{0, \text{alt}}) \bmod \Delta \varphi \quad 15$$

Die Koeffizienten β_A und β_φ sind dabei Wichtungsfaktoren, die jeweils < 1 sind. Über die Wahl des Wichtungsfaktors läßt sich das Verfahren optimieren. Bei einem Wichtungsfaktor β_A in der Nähe von 1 wird der alte Schätzwert für die Amplitude jeweils stärker in den neuen Schätzwert eingehen, während bei einem Wichtungsfaktor nahe 0 die jeweils neue Amplitude stärker eingeht.

Ist der Wichtungsfaktor β_φ nahe bei Null, so geht die alte Schätzung $\hat{\varphi}_{0, \text{alt}}$ stärker ein, während bei einem Wichtungsfaktor von $\beta_\varphi = 1$ die geschätzte Änderung des Phasenversatzes vollständig additiv übernommen wird.

Durch die beschriebene Vorgehensweise wird eine Entscheidungsrückkopplung geschaffen, da die Entscheidung in einem ersten Schritt hinsichtlich der Klassenzugehörigkeit eines Empfangssymbols im nachfolgenden Schritt weiter verwendet wird. Dadurch, daß die absolute Lage des Koordinatensystems des Ortsdiagramms näherungsweise korrigiert wird, erhält das erfindungsgemäß vorgeschlagene Verfahren einen pseudo- oder quasi-kohärenten Charakter.

Gleichwohl sind die bei einem echt kohärent arbeitenden Demodulationsverfahren aufwendigen Vorrichtungen zur phasengenauen Regelung des Trägersignals entbehrlich, so daß einfache Empfängerstrukturen möglich werden. Bei Versuchen wurde gefunden, daß bei der aus der DE-PS 43 19 217 C2 bekannten Modulationsform DAPSK der Rauschzustand um zirka 2 dB verbessert war.

Patentansprüche

1. Demodulationsverfahren für ein verrauschtes Signal, bei dem zumindest die Phase differentiell moduliert ist und die empfangenen Empfangssymbole (R_{ik}) als komplexe Symbole vorliegen und durch Bezug auf das vorhergehende Empfangssymbol desselben Kanals demoduliert werden, wobei Amplitude und/oder Phasenlage der Empfangssymbole durch einen Übertragungsfaktor (H_{ik}) des Funkkanals verzerrt sein können, und das demodulierte komplexe Symbol in einem rotationssymmetrischen Ortsdiagramm möglichen diskreten Werten an Sendesymbolen (S_{ik}) zugeordnet wird, indem das Ortsdiagramm in Fachgrenzen (FG) unterteilt wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Kanalübertragungsfaktor (H_{ik}) aus einem Vergleich von einem ersten empfangenen Symbol (R_{ik}) mit dem zugeordneten Sendesymbol (S_{ik}) nach Amplitude und Phase näherungsweise berechnet wird, wobei der näherungsweise errechnete Phasenversatz um

Beträge mehrdeutig ist, die jeweils einem ganzzahligen Vielfachen des Phasenlagen-Differenzwinkels ($\Delta\varphi$) zwischen zwei Phasenlagen des rotationssymmetrischen Ortsdiagramms entsprechen und daß der errechnete Kanalübertragungsfaktor (H_{ik}) bei der Demodulation des nächsten Empfangssymbols ($R_{i+1,k}$) zur Korrektur des Rauschanteils verwendet wird.

2. Demodulationsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ausgehend von der inkohärenten Demodulation von DPSK-Signalen der Phasenversatz (φ_0) des Kanalübertragungsfaktors (H_{ik}) zur Phasenkorrektur verwendet wird.

3. Demodulationsverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Phaseninformation des nächsten Empfangssymbols ($R_{i+1,k}$) um den Phasenversatz (φ_0) korrigiert wird.

4. Demodulationsverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Fachgrenzen (FG) für die Demodulation des nächstfolgenden Empfangssymbols ($R_{i+1,k}$) durch eine Koordinatentransformation des Ortsdiagramms um den Phasenversatz (φ_0) neu bestimmt (FG) werden.

5. Demodulationsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ausgehend von einer inkohärenten Demodulation von DAPSK-Signalen der näherungsweise errechnete Kanalübertragungsfaktor (H_{ik}) bei der Demodulation des nachfolgenden Empfangssymbols ($R_{i+1,k}$) zur Korrektur des Phasenversatzes (φ_0) und der Amplitudenverzerrung (\tilde{A}) verwendet wird.

6. Demodulationsverfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das nächst empfangene Empfangssymbol ($R_{i+1,k}$) durch komplexe Division durch den näherungsweise berechneten Übertragungsfaktor (H_{ik}) korrigiert wird.

7. Demodulationsverfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der in einem Schritt ((i-1)-ter Schritt) errechnete oder geschätzte Kanalübertragungsfaktor ($H_{i-1,k}$) in einem folgenden Schritt (i-ter Schritt) dazu verwendet wird, die Fachgrenzen (FG) durch eine Koordinatentransformation des Ortsdiagramms neu zu bestimmen.

8. Demodulationsverfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zur rechnerischen Realisierung der Koordinatentransformation des Ortsdiagramms die maximal empfangene Amplitude ($A_{\max R}$) verwendet wird, um einen Schätzwert (\hat{A}_{\max}) für die größte Amplitude des Ortsdiagramms zu bestimmen.

9. Demodulationsverfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der verwendete Schätzwert für die größte empfangene Amplitude (\hat{A}_{\max}) jedesmal dann aktualisiert wird, wenn ein empfangener Amplitudenwert (\tilde{A}) dem äußersten Amplitudenring des Ortsdiagramms zugeordnet wird und ein neuer Schätzwert rekursiv nach folgender Formel berechnet wird:

$$\hat{A}_{\max, \text{neu}} = \beta_A \hat{A}_{\max, \text{alt}} + (1 - \beta_A) \tilde{A}$$

10. Demodulationsverfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß Schätzwerte für die anderen Amplitudenringe aus den bekannten, gegenseitigen im Ortsdiagramm des Senders vorliegenden, Amplitudenverhältnissen nach folgender Formel berechnet werden:

$$\alpha_0 \hat{A}_0 = \alpha_1 \hat{A}_1 = \dots = \hat{A}_{\max}$$

11. Demodulationsverfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der geschätzte oder näherungsweise berechnete Wert für den Phasenversatz (φ_0) rekursiv nach folgender Formel berechnet wird: 5

$$\varphi_{0, neu} = \varphi_{0, alt} + \beta_\varphi (\tilde{\varphi} - \varphi_{0, alt}) \bmod \Delta \varphi \quad 10$$

mit $0 \leq \beta_\varphi \leq 1$.

12. Demodulationsverfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Schätzwert für den Phasenversatz (φ_0) jedesmal dann neu berechnet wird, wenn auch der Schätzwert für den Amplitudenring (\hat{A}_{\max}) neu berechnet wird. 15

13. Demodulationsverfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des äußersten Amplitudenrings (A_{\max}) ein anderer definierter Amplitudenring (A_n) zur Berechnung eines Schätzwertes für den verzerrten Amplitudenring (\hat{A}_n) herangezogen wird, und daß Schätzungen für die verbleibenden Amplitudenringe über die Ähnlichkeitsbeziehungen ($\alpha_0 A_0 = \alpha_1 A_1 = \dots = \hat{A}_{\max}$) berechnet werden. 20 25

14. Demodulationsverfahren nach Anspruch 8 und 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Schätzwerte für die verzerrten Amplituden in jedem Schritt aktualisiert werden, wobei die jeweils empfangene Amplitude (\hat{A}_n) auf den jeweils zugeordneten Amplitudenring (A_n) bezogen wird. 30

15. Demodulationsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es subträgerspezifisch im Rahmen eines Multiträgersystems verwendet wird. 35

16. Demodulationsverfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Multiträgersystem zueinander orthogonale Subträger verwendet (OFDM-Konzept). 40

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

45

50

55

60

65

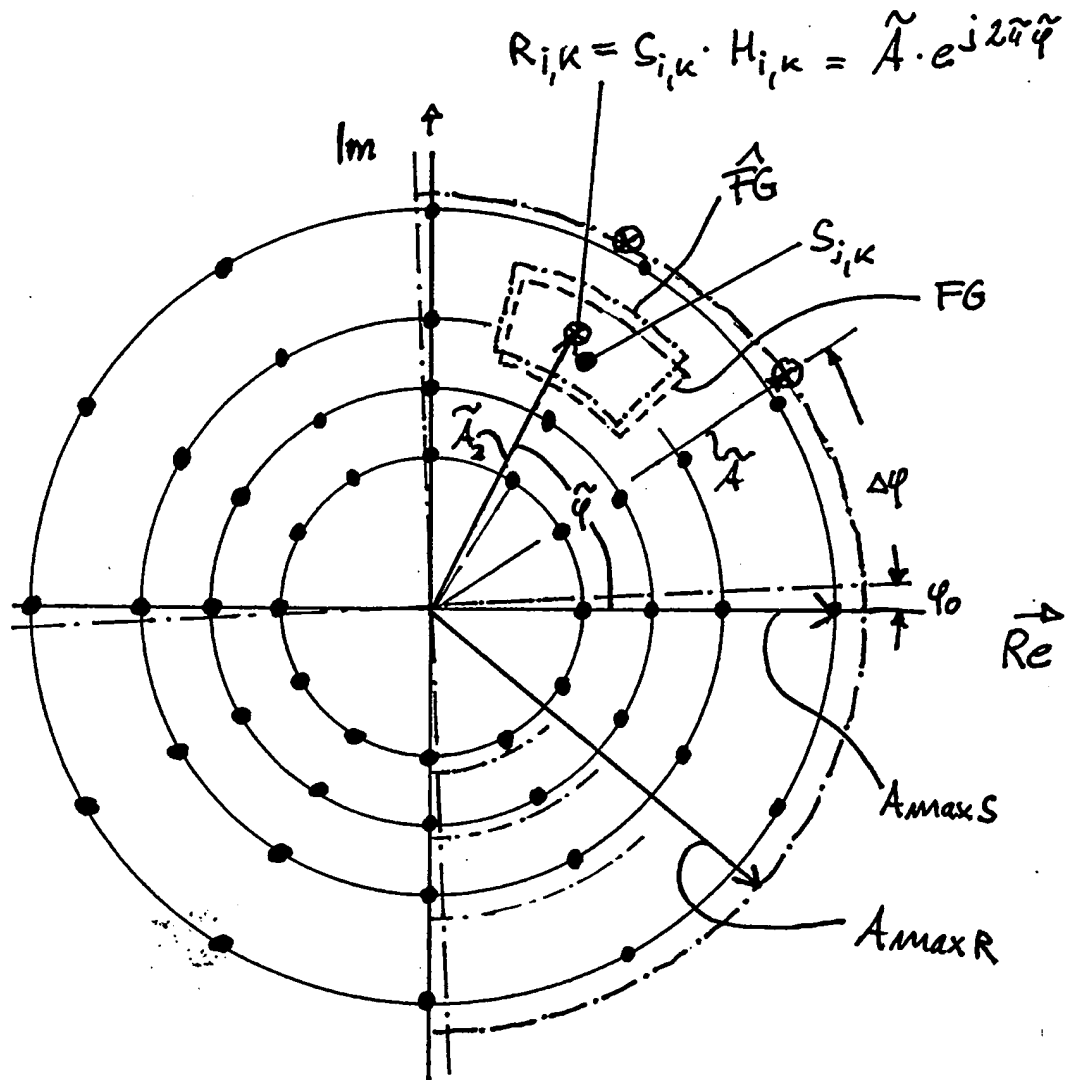


Fig. 1.